

Национальный банк Республики Беларусь  
УО «Полесский государственный университет»

**Л.А. ТРУХАН, А.В. ШАШКО**

## **РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Методические указания по выполнению  
лабораторных и практических занятий

для студентов всех специальностей  
(кроме педагогических)

Пинск  
ПолесГУ  
2010

УДК 614  
ББК 68.9  
Т80

**Р е ц е н з е н т ы:**

кандидат технических наук, директор Брестского филиала  
РНИУП «Институт радиологии» А.А. Зайцев;  
кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей и клинической  
медицины УО «ПолесГУ» Л.Л. Шебеко

**У т в е р ж д е н о**

учебно-методическим советом ПолесГУ

**Трухан, Л.А.**

Т80      Радиационная безопасность: методические указания по выполнению лабор. и практич. занятий / Л.А. Трухан, А.В. Шашко. – Пинск: ПолесГУ, 2010. – 44 с.

ISBN 978-985-516-105-0

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных и практических занятий по дисциплине «Защита населения и объектов от ЧС. Радиационная безопасность» и включают пояснения по физической природе радиоактивности, свойствам ионизирующих излучений, воздействию их на организм человека, способам защиты, а также задачи по расчету показателей радиационной опасности.

Для студентов всех специальностей (кроме педагогических).

УДК 614  
ББК 68.9

ISBN 978-985-516-105-0

© УО «Полесский государственный университет», 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Занятие 1. Радиоактивность. Физическая природа.....	5
Занятие 2. Закон радиоактивного распада.....	10
Занятие 3. Виды радиации. Сравнительная характеристика ионизирующих излучений.....	14
Занятие 4. Мера радиоактивности. Единицы измерения.....	20
Занятие 5. Методы обнаружения и измерения ионизирующих излучений. Приборная база.....	24
Занятие 6. Воздействие на человека ионизирующих излучений.....	28
Занятие 7. Нормирование ионизирующих излучений.....	33
Занятие 8. Радиационный контроль продуктов питания и плотности загрязнения почвы радиометрической аппаратурой.....	34
Литература.....	36
Приложения.....	37

## ВВЕДЕНИЕ

Современные радиационные технологии как результат расширения масштабов и сфер использования ядерной энергии, альтернативы которой нет, существенно изменили экологическую обстановку вследствие поступления в природные среды радиоактивных продуктов искусственного происхождения.

В Республике Беларусь более 1000 радиационно-опасных объектов, имеющих важное значение для экономики страны и социальной сферы. Явление радиоактивности используется в медицине, в промышленности и в научных лабораториях. Ежегодно образуется около 8 т радиоактивных отходов.

Основной причиной радиоактивного загрязнения территории, изменения состояния биосферы и негативного влияния на здоровье людей является радиационное воздействие ядерно-топливного цикла как в условиях нормальной эксплуатации объектов из-за накопления радиоактивных отходов, так и в результате аварийных ситуаций.

Катастрофа на ЧАЭС явилось грозным, глобального уровня предупреждением человечеству. Ущерб, нанесенный Республике Беларусь, не имеющей своей АЭС, оказал деструктивное воздействие на все сферы жизнедеятельности в пострадавших регионах и государства в целом.

Эффективная реализация широкомасштабных реабилитационных мероприятий в республике в значительной мере зависит от формирования радиоэкологической культуры поведения населения в изменившихся условиях жизнедеятельности и природопользования.

В связи с этим приоритетными являются знание и понимание физической природы радиоактивности, механизмов воздействия ионизирующих излучений на организм и осознанная необходимость безопасного поведения, исключающего необоснованное облучение.

Учебно-методические указания подготовлены в соответствии с типовой программой «Защита населения и объектов от ЧС. Радиационная безопасность». Раздел 2. Радиационная безопасность и предназначены для выполнения лабораторных и практических занятий с целью закрепления теоретического материала по физической природе радиоактивности, свойствам ионизирующих излучений, воздействию их на организм человека и способам защиты от внешнего и внутреннего облучения.

## **ЗАНЯТИЕ 1**

### **ТЕМА: РАДИОАКТИВНОСТЬ. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА**

**Цель:** получить представление о радиоактивности и радиоактивном распаде.

**Порядок выполнения работы:**

1. Радиоактивность как физическое явление.
2. Физическая сущность различных видов радиоактивного распада.
3. Построить цепь радиоактивных превращений ядер урана и тория до стабильного изотопа, используя таблицу Менделеева согласно своему варианту.

### **Пояснение к работе**

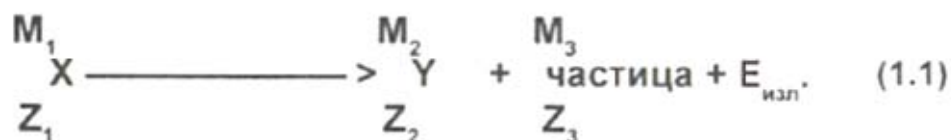
#### **Явление радиоактивности**

Впервые способность ядер тяжелых элементов самопроизвольно распадаться была обнаружена Беккерелем в 1896 году. Позднее Резерфорд и супруги Кюри показали, что ядра некоторых веществ испытывают последовательные превращения, образуя радиоактивные ряды, где каждый элемент ряда возникает из предыдущего, причем никакими внешними физическими воздействиями (температура, электрические и магнитные поля, давление) нельзя повлиять на характеристики распада.

Способность некоторых неустойчивых атомных ядер самопроизвольно превращаться в ядра других элементов с испусканием различных видов радиационных излучений называют радиоактивностью, а изотопы, ядра которых способны самопроизвольно распадаться, – радионуклидами.

Имеются радионуклиды средней части таблицы Д.И. Менделеева и три радиоактивных семейства тяжелых радионуклидов.

Количество ядерных превращений тяжелых радионуклидов может быть различным, но последним элементом, ядра которого не распадаются, являются изотопы свинца-206, 207, 208. Радиоактивный распад описывается при помощи уравнений на основе равенства сумм зарядов и массовых чисел:



Здесь  $M$  – массовое число, равное сумме протонов и нейтронов в ядре:

$$M = Z + n, \quad (1.2)$$

где  $Z$  – число протонов в ядре;  $n$  – количество нейтронов в ядре.

Выполнение закона сохранения массового числа:

$$M_1 = M_2 + M_3 \quad (1.3)$$

Выполнение закона сохранения электрического заряда:

$$Z_1 = Z_2 + Z_3 \quad (1.4)$$

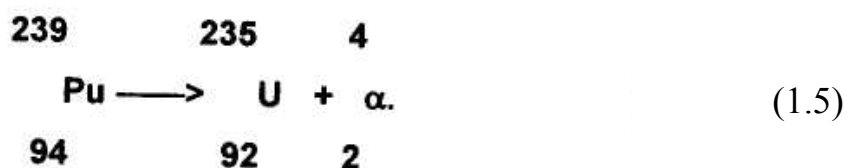
Известны 4 типа радиоактивного распада:

- 1) альфа-распад;
- 2) бета-распад;
- 3) спонтанное деление атомных ядер (нейтронный распад);
- 4) протонная радиоактивность (протонный синтез).

В более тяжелых элементах больше нейтронов. Начиная с номера 82 таблицы Д.И. Менделеева, ядра изотопов химических элементов нестабильны и распадаются. Рассмотрим примеры альфа- и бета-распадов как наиболее часто встречающиеся.

**Альфа-распад** характерен для ядер тяжелых элементов.

*Пример:*



При альфа-распаде ядро атома испускает два протона и два нейтрона, связанные в ядро атома гелия  ${}^4_2\text{He}$ , т.е. альфа-частица по массе и заряду аналогична ядру атома гелия. Таким образом, в результате альфа-распада образуется атом элемента, смещенный на два места от исходного радиоактивного элемента к началу периодической системы И.Д. Менделеева. Энергия альфа-частиц может быть в пределах 1-10 МэВ.

**Бета-распад** – это процесс превращения в ядре атома протона в нейтрон или нейтрона в протон с выбросом бета-частиц (соответственно позитрона или электрона). Бета-распад объединяет три самостоятельных вида радиоактивных превращений:

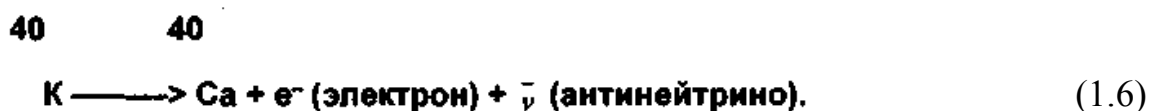
1) выбрасывание электрона и антинейтрино  $^{-}\beta$ -распад (электронный распад);

2) выбрасывание электрона и антинейтрино  $^{+}\beta$ -распад (позитронный распад);

3) поглощение одним из протонов ядра атома электрона с ближайшей орбиты. При этом заряд ядра уменьшится на единицу.

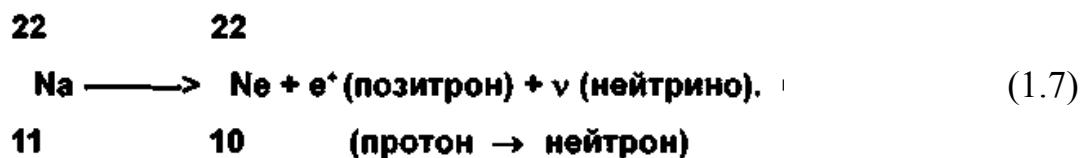
Как предполагают физики, для равновесия в ядре должно быть определенное сочетание количества протонов и нейтронов. При этом для придания устойчивости ядру нейтронов должно быть больше по мере роста порядкового номера химического элемента. Однако если имеет место чрезмерный избыток нейтронов, то ядро становится неустойчивым, что вызывает превращение нейтрона в протон. При этом образуется химический элемент с порядковым номером на единицу больше, а материнское ядро испускает электрон и антинейтрино. Если в ядре избыток протонов по сравнению с нейтронами, то протон превращается в нейтрон с испусканием позитрона и нейтрино. При этом образуется химический элемент с порядковым номером на единицу меньше материнского. Приведем примеры таких распадов.

Электронный распад:



19                      20 (нейтрон  $\rightarrow$  протон)

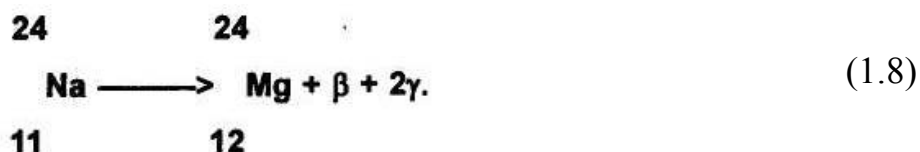
Позитронный распад:



Энергия бета-частиц изменяется в больших пределах и может достигать 13,5 МэВ. Бета-частицы распространяются в среде со скоростью 0,29 – 0,99 скорости света.

*Примечание.* Так как массы выбрасываемых электрона, позитрона, нейтрино и антинейтрино крайне малы по сравнению с массой протонов и нейтронов, то массовое число атома можно считать неизменным.

Иногда радиоактивный альфа- и бета-распад сопровождается выбросом не только бета- или альфа-частиц, но и гамма-квантов. Гамма-кванты – это электромагнитное излучение с частотой до  $10^{20}$  с<sup>-1</sup>, с энергией до 10 МэВ. Это происходит в том случае, если при распаде не вся энергия передается выбрасываемому электрону, позитрону или альфа-частице. Например:



*Примечание.* Как самостоятельный вид гамма-распад не существует.

Радиоактивные превращения ядер могут происходить и при захвате ядром орбитального электрона (К-захват):



**Спонтанное деление атомных ядер (нейтронный распад)** – это самопроизвольное деление некоторых тяжелых ядер (уран-238, 235, калифорний-240, 248, 249, 250; кюрий-244, 248 и др.). Вероятность самопроизвольного деления ядер незначительна по сравнению с альфа-распадом. Процесс самопроизвольного деления ядер происходит из-за того, что ядра сами по себе нестабильны. При этом происходит расщепление ядра на два осколка (ядра), близких по массе (рис. 1). При самопроизвольном делении имеет место неравенство  $m_{\text{яд}} > m_1 + m_2$ .

Здесь  $m_{\text{яд}}$  – масса ядра,  $m_1$ , и  $m_2$  – массы ядер-осколков, образующиеся в результате распада ядра. Кинетическая энергия ядер-осколков во много раз больше энергии альфа-частиц. Кроме того, выбрасывается некоторое количество нейтронов, обычно 2–3 на акт деления. Другой отличительной особенностью деления является большое энерговыделение (в миллионы раз больше, чем при сжигании органического топлива). И наконец, продукты деления являются радиоактивными. Ядра-осколки перегружены нейтронами и поэтому испускают нейтроны, бета-частицы, альфа-частицы и гамма-кванты.



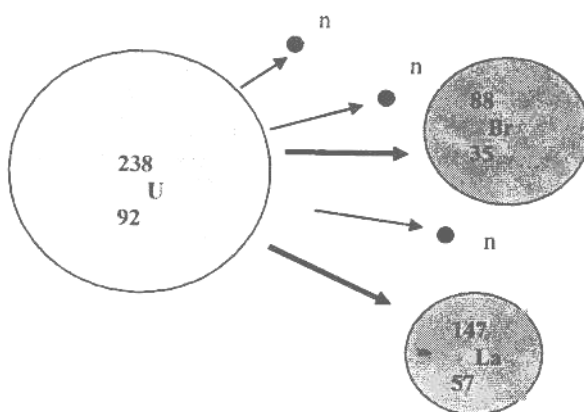


Рис. 1 – Схема одного из вариантов спонтанного деления ядра урана-238

**Протонная радиоактивность.** Как известно, космическое излучение представляет собой поток протонов (90 %), альфа-частиц (9 %), остальные – ядра легких элементов и другие элементарные частицы. Протонную радиоактивность лучше всего проиллюстрировать протеканием термоядерных реакций на Солнце.

Как уже отмечалось ранее, протон – относительно стабильная частица и является ядром самого распространенного изотопа водорода – протия. Протон участвует во всех процессах взаимодействия элементарных частиц. Солнце содержит много водорода (примерно 50 % массы Солнца, остальную часть составляют углерод, азот, кислород). Температура центральной части Солнца находится в пределах  $1,2 \cdot 10^7 \text{ К} - 1,5 \cdot 10^7 \text{ К}$ . При такой температуре все легкие элементы полностью ионизированы, так что вещество представляет собой плазму – смесь протонов (ядер водорода), электронов, легких ядер (альфа-частицы) и незначительное количество средних и тяжелых ядер. В этих условиях основной источник энергии связан с превращением водорода в гелий.

## ЗАНЯТИЕ 2

### ТЕМА: ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

**Цель:** уяснить математическую суть естественного распада радионуклидов.

**Порядок выполнения работы:**

1. Закон радиоактивного распада.
2. Математическая суть уменьшения количества радиоактивных атомов во времени.
3. Решить задачи 2.1 и 2.2. Проверить графиком.

### Пояснение к работе

#### Основной закон радиоактивного распада радионуклида

Основной закон радиоактивного распада гласит, что для каждого конкретного радионуклида (радиоактивного изотопа) в единицу времени распадается одна и та же доля атомов, пропорциональная общему количеству атомов в изотопе.

В результате всех видов радиоактивных превращений количество ядер данного изотопа постепенно уменьшается. Убывание количества распадающихся ядер происходит по экспоненте и записывается в следующем виде:

$$N=N_0e^{-\lambda t}, \quad (2.1)$$

где  $N_0$  – количество ядер радионуклида в момент начала отсчета времени ( $t = 0$ );  $\lambda$  – постоянная распада, равная распаду конкретного радиоактивного изотопа (радионуклида) в единицу времени, которая для различных радионуклидов разная;  $N$  – количество ядер радионуклида спустя время  $t$ ;  $e$  – основание натурального логарифма ( $e = 2,713....$ ).

Это и есть основной закон радиоактивного распада.

**Вывод формулы 2.1.** Естественный радиоактивный распад ядер протекает самопроизвольно, без всякого воздействия извне. Этот процесс статистический, и для отдельно взятого ядра можно лишь указать вероятность распада за определенное время. Поэтому скорость распада можно характеризовать временем  $t$ . Пусть имеется число  $N$  атомов

радионуклида. Тогда число распадающихся атомов  $dN$  за время  $dt$  пропорционально числу атомов  $N$  и промежутку времени  $dt$ :

$$dN = -\lambda N dt \quad (2.2)$$

Знак минус показывает, что число  $N$  исходных атомов уменьшается во времени. Экспериментально показано, что свойства ядер со временем не меняются. Отсюда следует, что  $\lambda$  есть величина постоянная и носит название «постоянная распада». Из уравнения 2.2 следует, что  $\lambda = -dN/N = \text{const}$ , при  $dt = 1$ , т.е. постоянная  $\lambda$  равна распаду конкретного радионуклида за единицу времени.

В уравнении 2.2 поделим правую и левую части на  $N$  и проинтегрируем:

$$dN/N = -\lambda dt \quad (2.3)$$

$$\int_{N_0}^N dN / N = -\lambda \int_0^t dt \quad (2.4)$$

Получим:

$$\ln N/N_0 = -\lambda t \quad \text{и} \quad N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2.5)$$

где  $N_0$  есть начальное число распадающихся атомов ( $N$  при  $t = 0$ ).

В практических расчетах для оценки характеристик радиационного излучения используется понятие *период полураспада*  $T$  (иногда в литературе обозначается  $T_{1/2}$ ). Периодом полураспада называется промежуток времени, в течение которого исходное число радиоактивных ядер уменьшается вдвое, а число распадающихся ядер за время  $T$  остается постоянным ( $\lambda = \text{const}$ ).

В уравнении 2.1 правую и левую часть поделим на  $N$  и приведем к виду:

$$N_0/N = e^{\lambda t} \quad (2.6)$$

Полагая, что  $N_0/N = 2$ , при  $t = T$ , получим  $\ln 2 = \lambda T$ , откуда:

$$\ln 2 = 0,693 \quad \lambda = 0,693/T \quad (2.7)$$

Подставив выражение 2.7 в 2.1, получим:

$$N = N_0 e^{-0,693t/T} \quad (2.8)$$

На графике (рис. 2) показана зависимость числа распадающихся атомов от времени распада. Теоретически кривая экспонента никогда не может слиться с осью абсцисс, но на практике можно считать, что примерно через 10 – 20 периодов полураспада радиоактивное вещество распадается полностью.

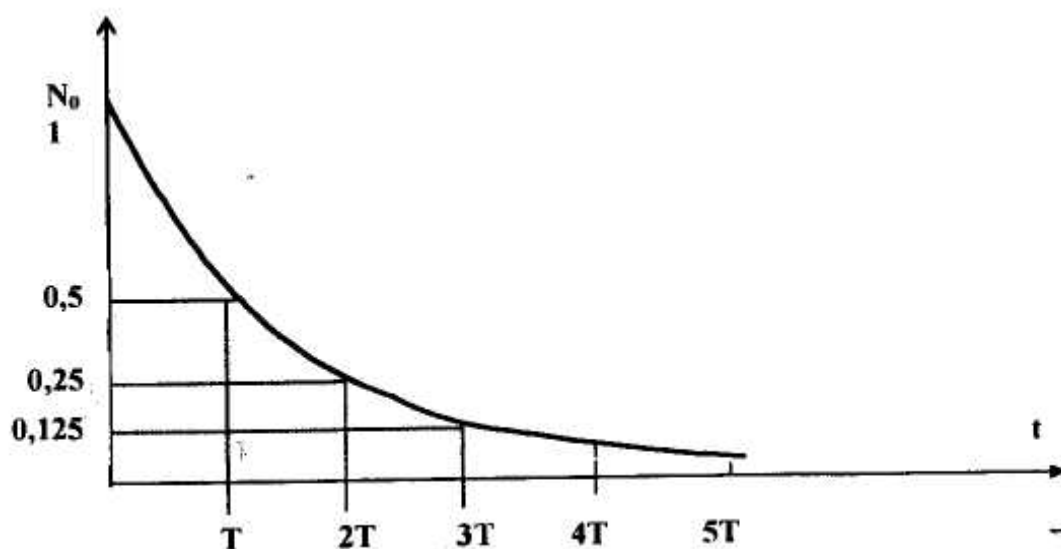


Рис. 2 – График уменьшения числа распадающихся ядер от времени в периодах полураспада

На практике формулой 2.8 пользуются редко, а используют основную характеристику источника излучения – *активность*.

Единица измерения активности в системе СИ – Беккерель (Бк): 1 Бк = 1 расп/с. Существует и внесистемная единица Кюри, которая изымается из употребления согласно ГОСТу 8.417-81 и РД 50-454-84. Однако на практике и в литературе она используется. За 1Ки принята активность 1г радия.

$$1\text{Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}; 1\text{Бк} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ки} \quad (2.9)$$

## Задачи

**Задача 2.1.** *Прогнозирование времени спада поверхностной радиоактивности территории до заданной величины.*

Местность загрязнена аэрозолями цезия-137 с активностью  $A_{0s}$  (Ки/км<sup>2</sup>). Через сколько лет  $t$  она уменьшится до величины  $A_s$ ?

Для расчета использовать формулу основного закона радиоактивного распада:  $A_s = A_{0s} \times e^{-0,693 t/T}$ ,

где  $e = 2,713$  (основание натурального логарифма).

Определить величину  $t$ . Период полураспада  $T$  цезия-137 – 30 лет.

**Задача 2.2.** *Прогнозирование поверхностной радиоактивности почвы через заданное время.*

Участок местности загрязнен плутонием-239 с активностью  $A_{0s}$  (Ки/км<sup>2</sup>). Какой будет активность через  $t$  лет, если

$$A_s = A_{0s} \times e^{-0,693 t/T}.$$

Период полураспада  $T$  – 24063 года.

### ЗАНЯТИЕ 3

## ВИДЫ РАДИАЦИИ. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

**Цель:** уяснить физическую природу различных видов излучений, отметить различия.

**Порядок выполнения работы:**

1. Перечислить и представить в виде таблицы (см. табл. 1) виды радиации, сопровождающие жизнь человека, отметить различия в физической природе.

2. Основные свойства и различия ионизирующих излучений.

3. Представить сравнительную характеристику ионизирующих излучений в виде таблицы (см. табл. 2).

4. Решить задачи 3.1 – 3.6 согласно своему варианту.

### Пояснение к работе

*Таблица 1*

Виды радиации

Ионизирующая радиация		Неионизирующая радиация	
Корпускулярное излучение	Коротковолновое электромагнитное излучение	Оптические волны	Электромагнитные волны

*Таблица 2*

Сравнительная характеристика ионизирующих излучений

Вид ионизирующих излучений	Скорость, км/с	Путь пробега в воздухе	Путь пробега в воде, биологической среде	Ионизирующая способность в воде, биологической среде

### Виды радиации

Радиация окружает человека повсеместно. Она является основой жизни на земле, ее невозможно уничтожить. Распределение радиации

по степени уменьшения длины волны распространения позволяет выделить следующие ее виды: ионизирующая радиация, ультрафиолетовые лучи, видимая часть спектра (начиная от синего света и кончая красным), инфракрасные лучи и электромагнитные поля (микроволны, радиочастоты, звуковые частоты, статические поля).

Радиацию условно делят на два вида: на неионизирующую и ионизирующую радиацию. К неионизирующей радиации относятся солнечные лучи и различные виды электромагнитного излучения. В небольших количествах они играют важную роль в жизни человека, в больших – вредны для здоровья. Человек научился их использовать в медицине (ультрафиолетовое и инфракрасное излучение), в быту и в промышленности (радиоволны, радары и др.).

Ионизирующая радиация получила свое название в связи с ее способностью ионизировать воду и другие вещества. Она обладает очень короткой длиной волны и способностью при переходе энергии в вещество выбивать из его атомов электроны. Эти свойства радиации используют в медицине, в ядерной энергетике, в промышленности, в сельском хозяйстве, археологии и др.

В то же время именно с этим видом радиации следует обращаться очень осторожно, так как она может нарушить химический состав клеток человека и даже убить их. Она является наиболее вредной для живых организмов. В результате катастрофы на ЧАЭС возрос уровень ионизирующей радиации на загрязненных радионуклидами территориях.

### **Основные свойства ионизирующих излучений**

Радиация будет ионизирующей в том случае, если она способна разрывать химические связи молекул, составляющих живые организмы, и тем самым вызывать биологически важные изменения. Свет, радиоволны так же, как и радиационное тепло от солнца, представляют разновидность радиации. Однако они не вызывают повреждений путем ионизации, хотя, конечно, могут оказывать биологические эффекты, если интенсивность их воздействия увеличить.

Ионизирующее излучение бывает следующего происхождения.

*Альфа-частицы* – ядра атомов гелия, состоящие из двух протонов и двух нейтронов, имеющие положительный заряд, относи-

тельно тяжелы. Обычно альфа-частицы испускаются при радиоактивном распаде тяжелых изотопов таких атомов, как уран или радий. Взаимодействуя с атомами, альфа-частицы выбивают из них электроны. Атом, который потерял хотя бы один электрон, уже перестает быть электронейтральным и приобретает избыток положительного заряда. В таких случаях говорят, что он становится положительным ионом. Электрон, покинувший атом, может присоединиться к другому атому, создавая тем самым отрицательный ион. Таким образом, вдоль пути прохождения альфа-частицы образуются ионы, причем возникают они парами, в которых один ион положительный, а другой отрицательный. Альфа-частицы ионизируют вещество очень сильно. В воде или биологической среде каждый третий атом на пути распространения этих частиц подвергается ионизации. Способность ионизировать атомы и молекулы является очень важной особенностью излучения.

Другой важной характеристикой излучения является длина его пробега. Альфа-частицы имеют относительно малую длину пробега. Эта характеристика зависит, естественно, от плотности среды, в которой распространяется излучение. В воздухе, например, она составляет всего несколько сантиметров, а обычный лист бумаги становится для нее непреодолимой преградой. В результате ионизации альфа-частица тратит много энергии, и, если даже не сталкивается с каким-либо ядром, скорость ее постепенно снижается. В результате она захватывает два свободных электрона, превращаясь в нейтральный атом гелия.

Существует свыше 300 изотопов, испускающих альфа-излучения. Подавляющее их большинство – изотопы тяжелых элементов. Список открывается иридием и платиной, включает полоний, радий, уран, плутоний и завершается элементом под номером 110.

*Бета-излучение* представляет собой поток электронов или позитронов, испускаемых ядрами радиоактивных элементов при бета-распаде. Из-за малой массы электрона длина пробега бета-излучения уже не так мала, как у альфа-излучения. Прежде чем исчезнуть, бета-частицы успевают пробежать в воздухе несколько метров, в воде и мягких тканях человеческого тела – несколько миллиметров, а в металле – десятки микрон. Разумеется, электроны при распространении в среде также оказывают на нее ионизирующее воздействие. Степень ионизации, однако, гораздо ниже, чем в случае альфа-излучения. В воде или биологической среде ионизи-



руется один атом из тысячи. Малая масса и слабая ионизирующая способность бета-частиц ведут и к меньшим потерям энергии при их распространении в среде. Благодаря этому бета-частицы обладают гораздо большей проникающей способностью, чем альфа-частицы. Их испускают большинство изотопов (свыше 1000).

*Гамма-лучи и рентгеновское излучение* по своей природе и свойствам не отличаются друг от друга (это электромагнитное излучение) и распространяются со скоростью света. Единственное различие между ними состоит в том, что они образуются разными способами. Если рентгеновские лучи обычно получают с помощью электронного аппарата, то гамма-лучи испускаются нестабильными, или радиоактивными, изотопами.

Для гамма-лучей характерна чрезвычайно слабая ионизирующая способность, поэтому обнаружить их по непосредственно ионизированным атомам и молекулам не просто. Для обнаружения гамма-лучей используется так называемая вторичная ионизация: кванты гамма-излучения выбивают несколько электронов, а эти электроны сильнее ионизируют вещество, выбив в свою очередь большое число электронов. Следовательно, гамма-излучение можно обнаружить теми же методами, что и альфа-излучение, с тем отличием, что при этом регистрируются вторичные электроны. Очень часто ядра атомов радиоактивных изотопов излучают гамма-лучи, одновременно с этим испуская также альфа- или бета-частицы, например, в реакции распада нейтрона на протон и электрон с выбрасыванием этого электрона из ядра и выделением некоторой энергии в виде гамма-излучения.

Стоит отметить, что гамма-излучение, имеющее некоторую энергию, проходит в воздухе путь в сто раз больший, чем бета-излучение, обладающее такой же энергией.

Нейтроны – единственные незаряженные частицы, образующиеся при любом радиоактивном преобразовании, являющиеся важной разновидностью ионизирующего излучения, так как они, как правило, связаны с процессами, происходящими в атомных бомбах и ядерных реакторах. Нейтроны – частицы с массой, равной массе протона, но в отличие от последнего они не обладают электрическим зарядом. Поскольку эти частицы электронейтральны, они глубоко проникают во всякое вещество, включая и живые ткани. При делении ядер тяжелых радиоактивных изотопов, например урана, с образованием двух более легких атомов, нейтроны испускаются как

побочный продукт. Нейтроны можно получить и искусственным путем в физических научно-исследовательских лабораториях на мощных ускорителях частиц. Сравнительная характеристика ионизирующих излучений представлена в таблице 2.

### Задачи

**Задача 3.1.** *Оценка возможности защиты людей от  $\gamma$ -излучения экраном из стекла.*

Во сколько раз  $\gamma$ -излучение ослабляет стекло, которое имеет толщину  $x$ : (см), а линейный коэффициент ослабления  $\gamma$ -излучения равен  $\mu$ , ( $\text{см}^{-1}$ ).

Надежно ли защищает стекло человека от  $\gamma$ -излучения?

Использовать формулу  $K_{\text{осл}} = 2^{x/d}$ ,

где  $d$  – толщина слоя половинного ослабления;  $d = 0,693/\mu$ .

*Примечание.* Величины  $\mu$  приведены в приложении 3 для энергий  $\gamma$ -квантов в диапазоне от 1 до 6 МэВ, т.е. выбраны максимальные величины.

**Задача 3.2.** *Оценка возможности защиты людей от  $\gamma$ -излучения в зданиях, построенных из кирпича.*

Во сколько раз ослабляется  $\gamma$ -излучение в кирпичной кладке толщиной  $x$  см, если линейный коэффициент  $\gamma$ -излучения  $\mu$  ( $\text{см}^{-1}$ ) для силикатного и огнеупорного кирпича приведен для энергии  $\gamma$ -квантов в диапазоне от 1 до 6 МэВ.

**Задача 3.3.** *Оценка возможности защиты людей от  $\beta$ -излучения экраном из стекла.*

Определить глубину проникновения  $\beta$ -частиц в стекле, если известна энергия  $\beta$ -частиц  $E_\beta$  (МэВ) и плотность среды  $\rho_{\text{ср}}$  (стекла  $\rho_{\text{с}}$ ,  $\text{г/см}^3$ ).

Использовать соотношение:  $R_{\text{ср}} / R_{\text{воз}} = \rho_{\text{воз}} / \rho_{\text{ср}}$ ,

где  $R_{\text{ср}}$  – длина пробега  $\beta$ -частиц в среде, см;  $R_{\text{воз}}$  – длина пробега  $\beta$ -частиц в воздухе ( $R_{\text{воз}} = 450E_\beta$ ), см;  $\rho_{\text{воз}}$  – плотность воздуха ( $\rho_{\text{возд}} = 0,0013 \text{ г/см}^3$ ).

**Задача 3.4.** *Оценка возможности защиты от  $\beta$ -излучения в зданиях, построенных из кирпича.*

Определить глубину проникновения  $\beta$ -излучения в кирпичной кладке, если известна энергия  $\beta$ -частиц  $E_\beta$  МэВ и плотность кирпича  $\rho_k$  (г/см<sup>3</sup>).

Использовать соотношение  $R_{\text{ср}} / R_{\text{воз}} = \rho_{\text{воз}} / \rho_{\text{ср}}$ ,

где  $R_{\text{ср}}$  – длина пробега  $\beta$ -частиц в среде, см;  $R_{\text{воз}}$  – длина пробега  $\beta$ -частиц в воздухе ( $R_{\text{воз}} = 450E_\beta$ ), см;  $\rho_{\text{воз}}$  – плотность воздуха ( $\rho_{\text{возд}} = 0,0013$  г/см<sup>3</sup>).

**Задача 3.5.** *Защита людей от  $\gamma$ -излучения временем облучения.*

Рассчитать безопасное время работы на расстоянии  $R$  (см) от источника цезия-137 активностью  $A$  (мКи) при допустимой эквивалентной дозе  $X_{\text{д.д}}$  (бэр). Использовать формулу  $t_{\text{д.в.}} = X_{\text{д.д}} \times R^2 / A \times \Gamma$ ,

где  $t_{\text{д.в.}}$  – допустимое время работы, ч;  $X_{\text{д.д}}$  – допустимая эквивалентная доза, бэр;  $\Gamma$  –  $\gamma$  – постоянная; для цезия-137  $\Gamma = 3,24$  (Р×см<sup>2</sup>)/(ч × мКи).

**Задача 3.6.** *Защита от  $\gamma$ -облучения расстоянием.*

Рассчитать безопасное расстояние  $R$  (см) работы с источником кобальта-60 с активностью  $A$  (мКи), при  $t$  (ч) и  $X_{\text{д.д}}$  (бэр).

Использовать формулу  $R = \sqrt{A \times \Gamma \times t / X_{\text{д.д}}}$ ,

где,  $\Gamma$  –  $\gamma$  – постоянная для кобальта-60;  $\Gamma = 13,85$  (Р×см<sup>2</sup>)/(ч×мКи);  $t$  – время работы за один год, ч.

## ЗАНЯТИЕ 4

### МЕРА РАДИОАКТИВНОСТИ. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

**Цель:** уяснить сущность принятых единиц измерения активности.

**Порядок выполнения работы:**

1. Дать определение количественной мере радиоактивности.
2. Единицы измерения активности в системе СИ и внесистемные.
3. Уяснить связь между массой радионуклида и его активностью. Решить задачи 4.1 и 4.2.
4. Плотность (степень, уровень) радиоактивного загрязнения. Единицы измерения в системе СИ и внесистемные.

#### Пояснение к работе

Мерой радиоактивности служит активность.

*Активность* – количество распавшихся атомов в единицу времени, т.е. скорость распада, которая для различных радионуклидов (радиоактивных изотопов) разная.

Согласно закону радиоактивного распада для конкретного радионуклида в единицу времени распадается одна и та же постоянная доля атомов от всего количества атомов (пропорциональная всему количеству атомов).

Значит, число распавшихся атомов в единицу времени зависит от массы радиоактивного изотопа.

Чем больше масса радиоактивного препарата, тем большее количество радиоактивных атомов имеется в препарате и большее количество распадается в единицу времени.

Активность измеряется в Беккерелях (Бк), что соответствует 1 распаду в секунду.  $1\text{Бк} = 2,7 \times 10^{-11}\text{Ки}$ .

Внесистемная единица активности – *кюри* (Ки) – это такая активность, при которой происходит  $3,7 \times 10^{10}$  распадов в секунду,  $1\text{Ки} = 3,7 \times 10^{10}\text{Бк}$ . 1 кюри соответствует активности 1 г чистого радия в котором распадается 3,7 млрд ядер в секунду. Производными этой единицы активности являются милликюри – тысячная доля кюри, и микрокюри – миллионная доля кюри.

Радиоактивные вещества могут находиться в различном агре-

гатном состоянии, в том числе аэрозольном, взвешенном состоянии в жидкости или в воздухе. Поэтому в дозиметрической практике часто используют величину удельной, поверхностной или объемной активности или концентрации радиоактивных веществ в воздухе, жидкости и в почве.

Удельную, объемную и поверхностную активность можно записать соответственно в виде:

$$A_m = A/m; A_v = A/v; A_s = A/s, \quad (4.1)$$

где  $m$  – масса вещества,  $v$  – объем вещества,  $s$  – площадь поверхности вещества.

1)  $A_m$  может быть выражена в Бк/кг или Ки/кг (удельная активность).

*СИ* – Бк/кг; *Внесистемная* – Ки/кг

$$1 \text{ Ки/кг} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк/кг}$$

2)  $A_s$  может быть выражена в Бк/м<sup>2</sup>, Ки/км<sup>2</sup> (поверхностная активность).

*СИ* – Бк/м<sup>2</sup>; *Внесистемная* – Ки/км<sup>2</sup>

$$1 \text{ Ки/км}^2 = \frac{3,7 \times 10^{10}}{10^6} \frac{\text{Бк}}{\text{м}^2} = 3,7 \times 10^4 \text{ Бк/м}^2$$

3)  $A_v$  может быть выражена в Бк/м<sup>3</sup> или Ки/л (объемная активность).

*СИ* – Бк/м<sup>3</sup>; *Внесистемная* – Ки/л

$$1 \text{ Ки/л} = \frac{3,7 \times 10^{10}}{1 \times 10^{-3}} \frac{\text{Бк}}{\text{м}^3} = 3,7 \times 10^{13} \text{ Бк/м}^3$$

На практике могут быть использованы как укрупненные, так и дробные единицы измерения. Например: Ки/км<sup>2</sup>, Бк/см<sup>2</sup>, Бк/г и др.

### Связь между массой радионуклида и его активностью

На практике часто необходимо определять массу радионуклида по известной активности и наоборот. Определим соотношения.

Известно, что масса одного грамм-моля вещества (радионуклида) численно равна массовому числу  $M$ , выраженному в граммах. С другой стороны, число атомов в одном грамм-моле равно числу Авогадро, т.е.  $N_A = 6,023 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ . Тогда можно составить пропорцию:

$$\begin{array}{ccc} m & \longrightarrow & M \\ N & \longrightarrow & N_A \end{array}$$

Отсюда следует:

$$m = MN / N_A = MA / \lambda N_A = MAT / 0,693 N_A, \quad (4.2)$$

где  $A$  – активность радионуклида;  $N$  – число радиоактивных атомов;  $T$  – период полураспада. В формуле 4.2 учтено, что  $N = A/\lambda$  и  $\lambda = 0,693/T$ .

Для удобства расчета и учета единиц в СИ выражение 4.2 можно записать в виде:

$$m = a_1 MTA; \quad m = a_2 MTA, \quad (4.3)$$

где величина  $a_1$  используется, если активность выражена в беккерелях,  $a_2$  – когда активность выражена в кюри,  $a_1$  и  $a_2$  представлены в таблице 3.

Таблица 3

Значения величин  $a_1$  и  $a_2$

Величины $a_1$ и $a_2$	Период полураспада $T$				
	с	мин	ч	сут	год
$a_1$	$2,4 \times 10^{-24}$	$1,44 \times 10^{-22}$	$8,62 \times 10^{-21}$	$2,07 \times 10^{-19}$	$7,56 \times 10^{-17}$
$a_2$	$8,86 \times 10^{-14}$	$5,32 \times 10^{-12}$	$3,19 \times 10^{-10}$	$7,66 \times 10^{-9}$	$2,80 \times 10^{-6}$

Пример расчета  $a_1$  и  $a_2$ .

Активность выражена в Бк,  $T$  – в годах ( $1 \text{ год} = 3,1536 \times 10^7$  сек).

$$MAT \times \frac{1 \times 3,1536 \times 10^7}{0,693 \times 6,02 \times 10^{23}} = MAT \times 7,56 \times 10^{-17}$$

Активность выражена в Ки ( $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}$ ),  $T$  – в годах ( $1 \text{ год} = 3,1536 \times 10^7 \text{ сек}$ ).

$$MAT \times \frac{3,7 \times 10^{10} \times 3,1536 \times 10^7}{0,693 \times 6,02 \times 10^{23}} = MAT \times 2,8 \times 10^{-6}$$

Активность радиоактивного вещества непосредственно не характеризует ионизирующего воздействия излучения: при одной и той же активности ионизирующее действие зависит от вида и энергии излучения, физических свойств облучаемой среды и других факторов. Ионизирующее действие излучений, а следовательно, и их поражающее воздействие на организм характеризуется дозой излучения (облучения).

### Задачи

**Задача 4.1.** *Уяснение сущности принятых единиц активности радионуклидов.*

В лаборатории было  $m$  грамм радия-226. Какой будет его активность в Ки и Бк? Для уточнения единиц активности и формулы пересчета использовать конспект лекций и учебное пособие.

**Задача 4.2.** *Оценка соответствия массы радиоактивного вещества его уровню активности.*

Какая масса (г) соответствует активности  $A_1$  (цезия – 137),  $A_2$  (стронция – 90),  $A_3$  (плутония – 239)?

Использовать формулу  $m = a_2 M A T = 2,8 \times 10^{-6} M A T$ ,

где  $M$  – массовое число радионуклида;  $A$  – активность радионуклида;  $T$  – период полураспада.

Период полураспада  $T$ : цезия-137 – 30 лет; стронция-90 – 29 лет; плутония-239 – 24063 года.

## ЗАНЯТИЕ 5

### МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ. ПРИБОРНАЯ БАЗА

**Цель:** закрепить теоретические знания о методах обнаружения и измерения ионизирующих излучений.

**Порядок выполнения работы:**

1. Перечислить методы обнаружения и измерения ионизирующих излучений. Обосновать принцип каждого метода.
2. Приборы радиационного контроля.
3. Представить приборную базу в виде таблицы.

#### Пояснение к работе

*Таблица 4*

#### Приборная база

Тип прибора (по назначению), единицы измерения	Прибор (марка)	Метод

Радиоактивные излучения не имеют ни запаха, ни цвета, не воспринимаются органами чувств. Обнаружить их можно только с помощью специальных приборов, а для определения вида радиоактивных излучений, установления количественных характеристик прибегают к дозиметрии и радиометрии. Принцип обнаружения ионизирующих излучений (нейтронов, гамма-лучей, бета-частиц и альфа-частиц) основан на их способности ионизировать вещество среды, в которой они распространяются. Ионизация, в свою очередь, является причиной физических и химических изменений в веществе.

Для обнаружения и измерения ионизирующих излучений используют фотографический, сцинтилляционный, химический, ионизационный методы.

*Фотографический метод* основан на степени почернения фотоэмульсии. Если фотопленку, помещенную в светонепроницаемую камеру, подвергнуть воздействию гамма-излучений, а затем про-



явить, обнаруживается ее почернение. Под воздействием ионизирующих излучений молекулы бромистого серебра, содержащегося в эмульсии, распадаются на серебро и бром, образуя мельчайшие кристаллики серебра, которые и вызывают почернение фотопленки. Плотность почернения пропорциональна поглощенной энергии излучения. Сравнивая плотность почернения фотопленки с эталоном, определяют дозу облучения (экспозиционную или поглощенную). На этом принципе основаны индивидуальные фотодозиметры, например ИД-11.

*Сцинтилляционный метод* основан на том, что под воздействием радиоактивных излучений некоторые вещества (сульфит цинка, иодид натрия) испускают фотоны видимого света. Возникшие при этом вспышки света могут быть зарегистрированы. Количество вспышек пропорционально мощности дозы излучения и регистрируется с помощью специальных приборов фотоэлектронных умножителей (СРП-68-01, СРП-88Н, РУГ-90).

*Химический метод* основан на определении степени изменения цвета некоторых химических веществ под воздействием облучения. Отдельные химические вещества под воздействием ионизирующих излучений меняют свою структуру. Так, хлороформ в воде под действием излучения разлагается с образованием соляной кислоты, которая вызывает изменение цвета красителя, добавленного к хлороформу. Двухвалентное железо в кислой среде окисляется в трехвалентное под воздействием свободных радикалов  $\text{HO}_2$  и  $\text{OH}$ , образующихся в воде при ее облучении. Трехвалентное железо с красителем дает цветную реакцию. По плотности окраски судят о дозе облучения (поглощенной энергии). На этом принципе основаны химические дозиметры ДП-70 и ДП-70М.

В разработке современных дозиметрических приборов широкое распространение получил ионизационный метод обнаружения и измерения ионизирующих излучений.

*Ионизационный метод* заключается в том, что под воздействием ядерных излучений в изолированном объеме происходит ионизация воздуха или газа: из электрически нейтральных атомов (молекул) газа образуются положительно и отрицательно заряженные ионы. Если в этот объем газа поместить два электрода, к которым приложено постоянное напряжение электрического тока, то между ними возникает электрическое поле, в котором отрицательно заря-

женные ионы притянутся к аноду, а положительно заряженные – к катоду. В результате этого разность потенциалов между электродами будет уменьшаться. Образуется так называемый ионизационный ток. По величине ионизационного тока можно судить об интенсивности ионизирующих излучений.

## **Классификация приборов**

По назначению приборы можно классифицировать следующим образом:

1) индикаторы – простейшие измерительно-сигнальные приборы, позволяющие обнаружить факт наличия излучения и ориентировочно оценить некоторые характеристики излучений. Детекторами в них чаще всего являются газоразрядные счетчики;

2) приборы контроля облучения людей (дозиметры);

3) приборы для измерения мощности дозы гамма- и рентгеновского излучения (рентгенометры), в качестве детекторов в них применяют ионизационные счетчики;

4) приборы для измерения активности (удельной, поверхностной, объемной) – радиометры; в качестве детекторов в них применяются ионизационные и сцинтилляционные счетчики;

5) спектрометры-приборы и установки, предназначенные для определения энергии частиц, энергетического спектра, типа радионуклида.

В последнем случае различают: альфа-спектрометры, гамма-спектрометры; бета-спектрометры. На практике пользуются и комбинированными приборами.

Приборы радиационного контроля делятся на несколько типов:

1) дозиметрические, предназначенные для измерения дозы облучения и мощности экспозиционной (полевой эквивалентной) дозы гамма-излучения (ИД-1, ИМД-1, ДП-02, ДП-22В, ДП-5В, ДП-24, ДРГ-01Т, ДБГ-06Т, «Сосна», РКСБ-1 04 и др.);

2) радиометрические, предназначенные для определения удельной и объемной активности радионуклидов в веществах и измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей (СРН-68-01, СРП-88Н, КРВП-ЗАБ, РУГ-90, радиометр «Бета», РУБ-01Л6 и др.);

3) спектрометрическая аппаратура, служащая для регистрации и анализа энергетического спектра и идентификация на этой основе излучающих радионуклидов (СИЧ – счетчик импульсов человека, практически единственное средство достоверной оценки доз внутреннего облучения человека, с помощью этого прибора определяется содержание изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в организме).

## ЗАНЯТИЕ 6

### ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЧЕЛОВЕКА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

**Цель:** закрепить теоретические знания о дозиметрических величинах, измеряющих воздействие ионизирующих излучений.

**Порядок выполнения работы:**

1. Уяснить количественную характеристику ионизирующих излучений.
2. Расчет основных дозиметрических единиц (иерархия доз).
3. Единицы измерения дозовых нагрузок в СИ и внесистемные. Представить в виде таблицы (см. табл. 5).
4. Задачи 6.1, 6.2, 6.3, 6.4.

#### Пояснение к работе

*Таблица 5*

#### Основные дозиметрические величины и единицы их измерения

Величина	Наименование и обозначение единиц измерения		Соотношение между единицами
	СИ	внесистемные	

#### Основные дозиметрические величины и единицы их измерения

Количественную характеристику излучения, обычно называемую дозой, измеряют в величинах энергии, поглощенной тканями. Термин «доза облучения» не слишком удачный, поскольку первоначально он относился к дозе лекарственного препарата, т.е. дозе, идущей на пользу, а не во вред организму. Дозу излучения организм может получить от любого радионуклида или их смеси, независимо от того, находятся они вне организма или внутри него (в результате попадания с пищей, водой или воздухом).

Для энергетической характеристики излучений принята экспозиционная доза (X). Она оценивается по эффекту ионизации сухого атмосферного воздуха. За единицу экспозиционной дозы рентгеновского

или гамма-излучения принимается кулон на килограмм (Кл/кг). Это доза рентгеновского или гамма-излучения, которая при полном использовании ионизирующей способности создает в воздухе массой один килограмм сумму электрических зарядов ионов данного одного знака, равную одному кулону (кулон равен количеству электричества, проходящего через поперечное сечение при токе 1 А за 1 с).

Внесистемной единицей экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучения является рентген (Р). Рентген – это такая доза рентгеновского или гамма-излучения, которая при нормальных условиях (давлении 750 мм рт. ст. и температуре 0°С) в 1 см<sup>3</sup> сухого воздуха образует более двух миллиардов пар ионов ( $2,08 \times 10^9$ ). Доза 1 Р накапливается за 1 час на расстоянии 1 м от источника радия массой в 1 г, т.е. активностью в 1 Ки.

Производные единицы:

миллирентген (мР) – 0,001 Р;

микрорентген (мкР) – 0,000001 Р;

1 Кл/кг = 3876 Р.

Экспозиционная доза характеризует потенциальную опасность воздействия проникающей радиации при общем и равномерном облучении тела человека. Именно с измерения количества излучения в воздухе и начиналась собственно дозиметрия, когда по дозе радиации в воздухе судили о дозе облучения человека, находящегося в этой же точке пространства. В настоящее время рентген используется для измерения мощности экспозиционной дозы.

*Мощность экспозиционной дозы* – это экспозиционная доза, отнесенная к единице времени. Единицей ее является ампер на килограмм (А/кг) – мощность экспозиционной дозы излучения, при которой экспозиционная доза за 1 с возрастает на 1 Кл/кг.

Внесистемные единицы – Р/ч; Р/мин; Р/с; мР/ч; мкР/ч.

*Уровень радиации* – мощность дозы излучения, измеренная на высоте 1 м от поверхности земли. Уровень радиации показывает дозу облучения, которую может получить человек за единицу времени.

Степень, глубина и форма лучевых поражений, развивающихся среди биологических объектов при воздействии на них ионизирующей радиации, в первую очередь, зависят от величин поглощенной энергии излучения.

Характеристика этого показателя представлена понятием *по-*

*поглощенной дозы (D)* – дозы любого ионизирующего излучения, поглощенной единицей массы облученного вещества. За единицу поглощенной дозы принят 1 грей (Гр). Эта единица названа так в честь английского физика и радиобиолога Л. Грея и соответствует 1 Дж/кг. Один грей равен поглощенной дозе излучения, соответствующей энергии 1 Дж ионизирующего излучения любого вида, переданной облученному веществу массой 1 кг.

Производные единицы:

миллигрей (мГр) = 0,001 Гр;

мик로그рей (мкГр) = 0,000001 Гр.

В радиобиологии и радиационной гигиене широкое применение получила внесистемная единица поглощенной дозы – рад (радиационная адсорбированная доза). Рад равен поглощенной дозе ионизирующего излучения, при которой веществу массой 1 г передается энергия ионизирующего излучения, равная 100 эрг.

Производными данной единицы являются миллирад (мрад), равный 0,001 рад, и микрорад (мкрад), равный 0,000001 рад.

1 Гр = 100 рад;

1 Р = 0,95 рад = 1 рад.

Поглощенные дозы излучений различных типов вызывают неравнозначный биологический эффект. При одинаковой поглощенной дозе альфа-излучения гораздо опаснее, чем бета- и гамма-излучения. Если принять во внимание этот факт, то поглощенную дозу следует умножить на коэффициент, отражающий способность излучения данного вида повреждать ткани организма (коэффициент качества излучения – К): 20 – для альфа-частиц, 10 – для протонов и нейтронов, 1 – для бета-частиц, рентгеновского и гамма-излучений.

Пересчитанную таким образом дозу называют *эквивалентной дозой (H)*.

$$H = D \times K$$

В системе СИ ее измеряют в единицах, называемых зивертами (Зв), названных в честь известного шведского ученого Зиверта, внесшего видный вклад в методологию количественного измерения радиации.

Зиверт – единица эквивалентной дозы смешанного излучения, равная 1 Дж/кг или 100 бэр.

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ бэр.}$$

Производные единицы:

миллизиверт (мЗв) = 0,001 Зв;

микрзиверт (мкЗв) = 0,000001 Зв.

Внесистемная единица – бэр (биологический эквивалент рентгена). Это доза любого ионизирующего излучения, поражающее действие которой эквивалентно дозе 1Р:

1Р = 1бэр.

Производные единицы – мбэр, мкбэр.

При оценке поражающего действия ионизирующих излучений следует учитывать также, что разные органы и ткани обладают разной радиочувствительностью.

Коэффициенты радиационного риска (КР):

- все тело – 1;
- половые железы – 0,25;
- молочные железы – 0,15;
- красный костный мозг – 0,12;
- легкие – 0,12;
- щитовидная железа – 0,03;
- костная ткань – 0,03;
- другие ткани – 0,30.

Умножив эквивалентные дозы на соответствующие коэффициенты радиационного риска и просуммировав их по всем органам и тканям, получим *эффективную эквивалентную дозу (E)*, которая также измеряется в зивертах (СИ) и бэрах (внесистемная единица).

$$E = \sum H_j W_{jt}$$

Эти понятия характеризуют только индивидуально получаемые дозы. Просуммировав индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, полученные группой людей, мы придем к *коллективной эффективной дозе (S)*, которая измеряется в человеко-зивертах (чел × Зв) или человеко-бэрах (чел × бэр).

Коллективную дозу можно рассчитать для отдельного поселка, района, области, республики, континента. Она равна произведению средней эффективной дозы на число лиц в облученной группе. В определении коллективной эффективной дозы не указано время, за которое она получена. Поэтому обычно указывается время, за которое получена доза для группы лиц. Таким образом, коллективная доза – объективная оценка масштаба радиационного поражения.

## Задачи

**Задача 6.1.** *Пересчет дозиметрических величин из внесистемных единиц в системные (СИ).*

Пересчитать мощность экспозиционной дозы  $P_x$  (мкР/ч) в системную единицу Кл/(кг·с). При этом следует учесть, что  $1 \text{ Кл}/(\text{кг} \cdot \text{с}) = 3876 \text{ Р}/\text{с}$ .

Пересчитать эту же мощность экспозиционной дозы  $P_x$  (мкР/ч) в системную единицу мощности эквивалентной дозы – Зв/с. Принять, что  $1 \text{ Зв} = 100 \text{ Р}$ .

**Задача 6.2.** *Расчет мощности поглощенной дозы.*

Рассчитать поглощенную дозу  $D$  и мощность поглощенной дозы  $D_x$ , если телом массой  $m$  (кг) в течение времени  $t$  (ч) поглощена энергия  $E$  (Дж).

При решении учесть, что единицей массы тела поглощена доза  $D = \text{Гр}$ .

$$D_x = D (\text{Гр}) / t (\text{с}) = \text{Гр}/\text{с}.$$

**Задача 6.3.** *Расчет показателей норм безопасности.*

Рассчитать мощность эквивалентной дозы  $H_x$  (мкЗв/ч), при которой не будет превышен дозовый предел внешнего годового облучения человека  $H_T$  (мЗв/год).

Принять число дней в году – 365.  $H_x$  – величина постоянная в течение года.

**Задача 6.4.** *Расчет доз облучения человека.*

Рассчитать эффективную дозу облучения человека  $H_3$  (мЗв), если при рентгенокопии половые железы получили эквивалентную дозу  $H_{п.ж.}$  (мкЗв), степень риска  $W = 0,2$ ; легкие и желудок  $H_{л.ж.}$  (мкЗв), степень риска  $W = 0,12$ ; остальные органы –  $H_{о.о.}$  (мкЗв), степень риска  $W = 0,05$ .

Учесть, что  $H_3 = \sum H_j \cdot W_j$ , где  $j$  – орган или ткань.



## **ЗАНЯТИЕ 7**

### **НОРМИРОВАНИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

**Цель:** получить практические навыки измерения мощности экспозиционной (полевой эквивалентной) дозы  $\gamma$ -излучения приборами-дозиметрами (рентгенометрами).

**Порядок выполнения работы:**

1. Изучить указания по технике безопасности.
2. Ознакомиться с техническими характеристиками прибора, режимом работы и правилами эксплуатации.
3. Измерить мощность экспозиционной (полевой эквивалентной) дозы  $\gamma$ -излучения в окружающей среде.

## ЗАНЯТИЕ 8

### РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И ПЛОТНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРОЙ

**Цель:** получить практические навыки определения степени загрязнения продуктов питания и почвы.

**Порядок выполнения работы:**

1. Изучить указания по технике безопасности.
2. Ознакомиться с режимом работы прибора и правилами эксплуатации.
3. Определить удельную (объемную) активность в продуктах питания и поверхностную активность почвы.
4. Оценить радиационное качество продуктов, сопоставив с РДУ.
5. Задачи 8.1, 8.2, 8.3, 8.4.

**Задача 8.1.** *Пересчет поверхностной активности почв Республики Беларусь в удельную активность.*

Пересчитать  $A_s$  (Ки/км<sup>2</sup>) в Ки/кг и Бк/кг  
 $A_m = 5 \times 10^{-3} A_s$  – для почв Республики Беларусь.

**Задача 8.2.** *Пересчет удельной активности почв Республики Беларусь в поверхностную активность.*

Пересчитать  $A_m$  (Ки/кг) в  $A_s$  (Ки/км<sup>2</sup>).  
Пересчитать  $A_m$  (Ки/кг) в  $A_m$  (Бк/кг).

**Задача 8.3.** *Оценка степени опасности для здоровья продуктов растениеводства, выращенных на радиоактивной почве.*

Местность загрязнена радионуклидом с активностью  $A_s$  (Ки/км<sup>2</sup>). Оценить возможность использования овощей, выращенных на данной почве, если коэффициент перехода радионуклидов из почвы в овощи составляет  $K$ .

Использовать конечный результат расчета  $A_m$  (Бк/кг) из задачи 8.1, который необходимо умножить на  $K$  и сравнить с РДУ-99 (приложение 4). Предложить способ дезактивации.

**Задача 8.4.** Пробоотборником диаметром 0,1 м отобрана проба почвы для определения плотности загрязнения цезием-137. Масса образца – 0,4 кг, влажность – 40 %. Определена активность данного образца  $A$  (Бк).

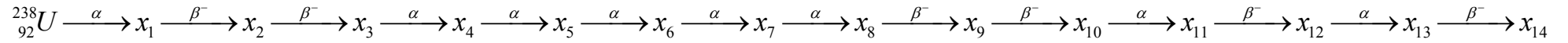
Рассчитать  $A_s$  (Бк/м<sup>2</sup>), (Ки/км<sup>2</sup>) и  $A_m$  (Бк/кг), (Ки/кг).

## ЛИТЕРАТУРА

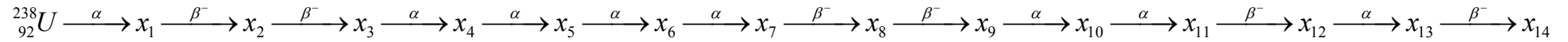
1. Галицкий, Э.А. Основы радиационной безопасности: учеб. пособие / Э.А. Галицкий, В.К. Пестис, Н.Н. Забелин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Гродно: ГрГУ, 2004. – 244 с.
2. Дзикович, И.А. Радиационная медицина матери и ребенка / И.А. Дзикович, И.В. Ролевич, В.Е. Шевчук. – Гомель, 1999. – 148 с.
3. Дорожко, С.В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: учеб. пособие: в 3-х ч. – Минск: УП «Технопринт», 2003. Ч.3: Радиационная безопасность / С.В. Дорожко, В.П. Бубнов, В.Т. Пустовит. – 2003. – 209 с.
4. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: практикум / А.И. Антоненков [и др.]. – Минск: БГЭУ, 2005. – 119 с.
5. Основы радиационной безопасности: учеб. пособие / И.Я. Гапанович [и др.]; под ред. И.Я. Гапановича. – Минск: БГЭУ, 2002. – 138 с.

# Варианты радиоактивного превращения ядер

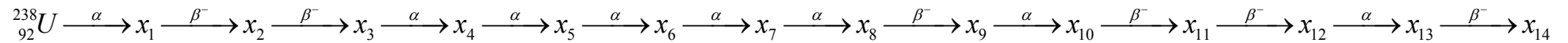
1.



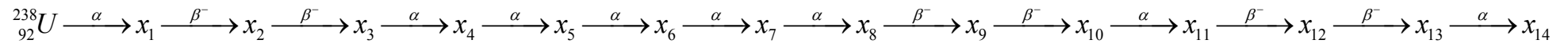
2.



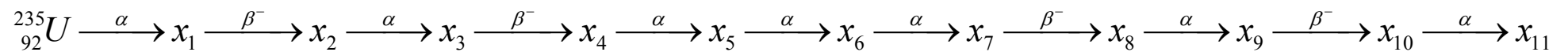
3.



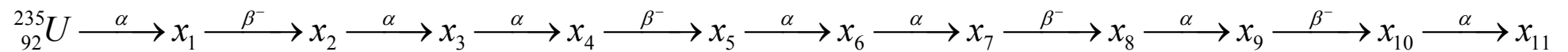
4.



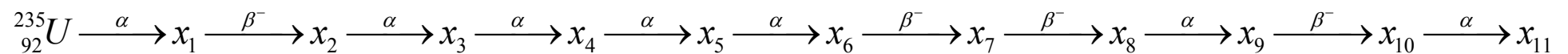
5.



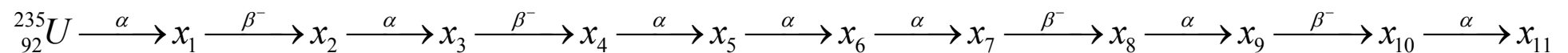
6.



7.



8.



9.

$${}^{232}_{90}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} x_1 \xrightarrow{\beta^-} x_2 \xrightarrow{\beta^-} x_3 \xrightarrow{\alpha} x_4 \xrightarrow{\alpha} x_5 \xrightarrow{\alpha} x_6 \xrightarrow{\beta^-} x_7 \xrightarrow{\alpha} x_8 \xrightarrow{\beta^-} x_9 \xrightarrow{\alpha} x_{10}$$

10.

$${}^{232}_{90}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} x_1 \xrightarrow{\beta^-} x_2 \xrightarrow{\beta^-} x_3 \xrightarrow{\alpha} x_4 \xrightarrow{\alpha} x_5 \xrightarrow{\alpha} x_6 \xrightarrow{\alpha} x_7 \xrightarrow{\beta^-} x_8 \xrightarrow{\alpha} x_9 \xrightarrow{\beta^-} x_{10}$$

11.

$${}^{234}_{92}\text{U} \xrightarrow{\alpha} x_1 \xrightarrow{\alpha} x_2 \xrightarrow{\alpha} x_3 \xrightarrow{\alpha} x_4 \xrightarrow{\alpha} x_5 \xrightarrow{\beta^-} x_6 \xrightarrow{\beta^-} x_7 \xrightarrow{\alpha} x_8 \xrightarrow{\beta^-} x_9 \xrightarrow{\alpha} x_{10} \xrightarrow{\beta^-} x_{11}$$


12.

$${}^{226}_{88}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} x_1 \xrightarrow{\alpha} x_2 \xrightarrow{\alpha} x_3 \xrightarrow{\beta^-} x_4 \xrightarrow{\beta^-} x_5 \xrightarrow{\alpha} x_6 \xrightarrow{\beta^-} x_7 \xrightarrow{\alpha} x_8 \xrightarrow{\beta^-} x_9$$

13.

$${}^{231}_{91}\text{Pa} \xrightarrow{\alpha} x_1 \xrightarrow{\beta^-} x_2 \xrightarrow{\alpha} x_3 \xrightarrow{\alpha} x_4 \xrightarrow{\alpha} x_5 \xrightarrow{\beta^-} x_6 \xrightarrow{\alpha} x_7 \xrightarrow{\beta^-} x_8 \xrightarrow{\alpha} x_9$$

# ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА									
1	I					VII		VIII	
						(H)			
1	<b>H</b> 1 водород					<b>(H)</b> 2		<b>He</b> 4.002602 гелий	
2	<b>Li</b> 3 литий	<b>Be</b> 4 бериллий	<b>B</b> 5 бор	<b>C</b> 6 углерод	<b>N</b> 7 азот	<b>O</b> 8 кислород	<b>F</b> 9 фтор	<b>Ne</b> 10 неон	 Периодический закон открыт Д.И.МЕНДЕЛЕЕВЫМ в 1869 году
3	<b>Na</b> 11 натрий	<b>Mg</b> 12 магний	<b>Al</b> 13 алюминий	<b>Si</b> 14 кремний	<b>P</b> 15 фосфор	<b>S</b> 16 сера	<b>Cl</b> 17 хлор	<b>Ar</b> 18 аргон	
4	<b>K</b> 19 калий	<b>Ca</b> 20 кальций	<b>Sc</b> 21 скандий	<b>Ti</b> 22 титан	<b>V</b> 23 ванадий	<b>Cr</b> 24 хром	<b>Mn</b> 25 марганец	<b>Fe</b> 26 железо	
	<b>Cu</b> 29 медь	<b>Zn</b> 30 цинк	<b>Ga</b> 31 галлий	<b>Ge</b> 32 германий	<b>As</b> 33 мышьяк	<b>Se</b> 34 селен	<b>Br</b> 35 бром	<b>Kr</b> 36 криптон	
5	<b>Rb</b> 37 рубидий	<b>Sr</b> 38 стронций	<b>Y</b> 39 иттрий	<b>Zr</b> 40 цирконий	<b>Nb</b> 41 ниобий	<b>Mo</b> 42 молибден	<b>Tc</b> 43 технеций	<b>Ru</b> 44 рутений	<b>Rh</b> 45 родий
	<b>Ag</b> 47 серебро	<b>Cd</b> 48 кадмий	<b>In</b> 49 индий	<b>Sn</b> 50 олово	<b>Sb</b> 51 сурьма	<b>Te</b> 52 теллур	<b>I</b> 53 йод	<b>Xe</b> 54 ксенон	<b>Pd</b> 46 палладий
6	<b>Cs</b> 55 цезий	<b>Ba</b> 56 барий	<b>La</b> 57 лантан	<b>Hf</b> 72 гафний	<b>Ta</b> 73 тантал	<b>W</b> 74 вольфрам	<b>Re</b> 75 рений	<b>Os</b> 76 осмий	<b>Ir</b> 77 иридий
	<b>Au</b> 79 золото	<b>Hg</b> 80 ртуть	<b>Tl</b> 81 таллий	<b>Pb</b> 82 свинец	<b>Bi</b> 83 висмут	<b>Po</b> 84 полоний	<b>At</b> 85 астат	<b>Rn</b> 86 радон	<b>Pt</b> 78 платина
7	<b>Fr</b> 87 франций	<b>Ra</b> 88 радий	<b>Ac</b> 89 актиний	<b>(Ku)</b> 104 (курчатовий)	<b>(Ns)</b> 105 (нильсборн)	<b>(106)</b> 106	<b>(107)</b> 107	<b>(108)</b> 108	<b>(109)</b> 109
* лантаноиды									
<b>La</b> 57 лантан	<b>Ce</b> 58 церий	<b>Pr</b> 59 празеодим	<b>Nd</b> 60 неодим	<b>Pm</b> 61 прометий	<b>Sm</b> 62 самарий	<b>Eu</b> 63 европий	<b>Gd</b> 64 гадолиний	<b>Tb</b> 65 тербий	<b>Dy</b> 66 диспрозий
<b>Ho</b> 67 гольмий	<b>Er</b> 68 эрбий	<b>Tm</b> 69 тулий	<b>Yb</b> 70 иттербий	<b>Lu</b> 71 лютеций	** актиноиды				
<b>Ac</b> 89 актиний	<b>Th</b> 90 торий	<b>Pa</b> 91 протактиний	<b>U</b> 92 уран	<b>Np</b> 93 нептуний	<b>Pu</b> 94 плутоний	<b>Am</b> 95 амерций	<b>Cm</b> 96 куриум	<b>Bk</b> 97 берклий	<b>Cf</b> 98 калifornий
<b>Es</b> 99 эйштейний	<b>Fm</b> 100 фермий	<b>Md</b> 101 менделевий	<b>(No)</b> 102 (нобелий)	<b>(Lr)</b> 103 (лоуренсий)					

# ПРИЛОЖЕНИЕ 3

## Исходные данные для решения задач 2.1 – 3.6

Вариант	Задача 2.1		Задача 2.2		Задача 3.1		Задача 3.2		Задача 3.3		Задача 3.4		Задача 3.5			Задача 3.6		
	$A_{0s},$ Ки/км <sup>2</sup>	$A_s,$ Ки/км <sup>2</sup>	$A_{0s},$ Ки/км <sup>2</sup>	t, тыс. лет	x, см	$\mu,$ см <sup>-1</sup>	x, см	$\mu,$ см <sup>-1</sup>	$E_\beta,$ МэВ	$\rho_s,$ г/см <sup>3</sup>	$E_\beta,$ МэВ	$\rho_s,$ г/см <sup>3</sup>	$X_{д.д.},$ бэр	R, см	A, мКи	A, мКи	t, ч	$X_{д.д.},$ бэр
1	8	1	5	50	0,2	0,439	10	0,129	0,18	6,4	0,18	2,05	2	50	5	5	250	2
2	7	1	8	70	0,2	0,348	20	0,129	0,22	6,4	0,22	1,78	5	60	12	12	500	5
3	4	1	5	70	0,2	0,257	30	0,129	0,5	6,6	0,5	1,90	2	70	15	15	200	2
4	6	1	6	50	0,2	0,194	40	0,129	0,7	6,6	0,7	2,16	5	100	10	10	600	5
5	25	1	7	50	0,3	0,439	10	0,0825	0,523	6,4	0,523	2,05	2	80	9	9	400	2
6	25	5	4	50	0,3	0,348	50	0,0825	0,19	6,5	0,19	1,78	5	30	2	2	700	5
7	30	1	2	30	0,3	0,257	20	0,0825	0,20	6,4	0,20	1,90	2	200	12	12	2000	2
8	30	5	3	30	0,3	0,194	30	0,0825	0,16	6,6	0,16	2,16	5	40	10	10	250	5
9	5	1	6	30	0,4	0,348	40	0,0825	0,1	6,2	0,1	2,05	2	60	8	8	280	2
10	16	1	9	50	0,4	0,439	10	0,0738	1,02	6,4	1,02	1,78	5	50	15	15	260	5
11	17	1	7	80	0,4	0,157	20	0,0738	0,54	6,3	0,54	2,16	2	150	7	7	2000	2
12	18	5	12	100	0,4	0,257	30	0,0738	0,85	6,4	0,85	1,90	5	150	12	2	3000	5
13	20	5	5	60	0,5	0,439	40	0,0738	0,3	6,4	0,3	2,05	2	70	5	5	600	2
14	32	1	3	50	0,5	0,348	50	0,0738	0,41	6,6	0,41	1,78	5	80	10	10	1000	5
15	32	5	4	40	0,5	0,257	10	0,0543	0,32	6,6	0,32	1,90	2	160	10	10	1600	2



### Исходные данные для решения задач 4.1 – 6.4

Вариант	Задача 4.1	Задача 4.2			Задача 6.1	Задача 6.2			Задача 6.3	Задача 6.4		
	m, г	A <sub>1</sub> , Ки	A <sub>2</sub> , Ки	A <sub>3</sub> , Ки	P <sub>x</sub> , мкР/ч	m, кг	t, ч	E, Дж	H г, мЗв/год	H <sub>п.ж.</sub> , мкЗв	H <sub>л.ж.</sub> , мкЗв	H <sub>о.о.</sub> , мкЗв
1	5	2	2	0,5	18	40	5	0,5	0,50	15	150	20
2	3	5	0,5	0,2	14	45	6	0,6	0,57	15	140	20
3	4	8	2,3	1,5	9	50	7	0,7	0,60	20	130	25
4	9	2	1	8	15	55	8	0,8	0,68	25	120	30
5	8	6	4,5	0,05	22	60	9	0,9	0,72	30	110	35
6	7	12	1,5	0,9	70	65	10	1,0	0,75	10	100	20
7	12	20	0,7	1,2	50	70	3	1,1	0,80	20	160	40
8	6	13	0,9	1	12	75	4	1,2	0,85	20	160	30
9	13	10	1,2	0,7	26	80	5	1,3	0,90	20	150	25
10	10	25	8	7	20	85	6	1,4	0,93	30	160	40
11	11	11	8,5	9	122	90	7	1,5	0,98	30	170	40
12	15	7	7,5	5	30	95	8	1,6	1,05	40	180	40
13	20	3	6	7,5	40	100	2	1,7	1,15	40	190	50
14	25	18	5	5,5	50	40	7	1,8	1,19	40	200	50
15	14	4	5,5	9,3	28	45	8	1,9	1,25	40	210	50

### Исходные данные для решения задач 8.1 – 8.4

Вариант	Задача 8.1	Задача 8.2	Задача 8.3	Задача 8.4
	$A_s,$ Ки/км <sup>2</sup>	$A_m,$ Ки/кг	К	$A,$ Бк
1	2	$1 \times 10^{-8}$	0,01	1700
2	3	$1 \times 10^{-9}$	0,2	1500
3	4	$2 \times 10^{-8}$	0,03	1200
4	6	$3,2 \times 10^{-9}$	0,3	1600
5	7	$5 \times 10^{-6}$	0,02	1800
6	3,5	$6 \times 10^{-7}$	0,04	2000
7	2,25	$3 \times 10^{-8}$	0,02	5000
8	15	$2,7 \times 10^{-9}$	0,01	8000
9	25	$4 \times 10^{-8}$	0,03	2100
10	11	$3,5 \times 10^{-9}$	0,12	9000
11	21	$2,7 \times 10^{-9}$	0,15	6500
12	13	$5 \times 10^{-8}$	0,01	7000
13	7,5	$6 \times 10^{-8}$	0,03	7500
14	40	$1 \times 10^{-6}$	0,02	1000
15	30	$3 \times 10^{-7}$	0,01	1300

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)

Наименование продукции	Цезий-137, Бк/кг	Стронций-90, Бк/кг
Вода питьевая	10	0.37
Молоко и цельномолочная продукция	100	3,7
Молоко сгущенное и концентрированное	200	—
Творог и творожные изделия	50	—
Сыры сычужные и плавленые	50	—
Масло коровье	100	—
Говядина, баранина и продукты из них	500	—
Свинина, птица и продукты из них	180	—
Картофель	80	3.7
Хлеб и хлебобулочные изделия	40	3,7
Мука, крупы, сахар	60	—
Жиры растительные	40	—
Жиры животные и маргарин	100	—
Фрукты	40	—
Садовые ягоды	70	—
Овощи и корнеплоды	100	—
Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод садовых	74	—
Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	185	—
Грибы свежие	370	—
Грибы сушеные	2500	—
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	37	1,85
Прочие продукты питания	370	—

Учебное издание

Трухан Людмила Алексеевна  
Шашко Александр Викторович

## **Радиационная безопасность**

Методические указания  
по выполнению лабораторных и практических занятий

Ответственный за выпуск *П.С. Кравцов*

Редактор *Ю.Л. Купченко*  
Корректор *Т.Т. Шрамук*  
Компьютерный дизайн *А.А. Пресный*

Подписано в печать 06.05.2010 г. Формат 60х84/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Ризография.  
Усл. печ. л. 2,5. Уч.-изд. л. 1,24.  
Тираж 123 экз. Заказ № 1110.

Отпечатано в редакционно-издательском отделе  
Полесского государственного университета.  
225710, г. Пинск, ул. Днепровской флотилии, 23.